

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-235886

(43)Date of publication of application : 19.08.2004

(51)Int.Cl.

H03H 9/17  
H01L 41/09

(21)Application number : 2003-021017

(71)Applicant : KYOCERA KINSEKI CORP  
NAKAMURA YASUYOSHI

(22)Date of filing : 29.01.2003

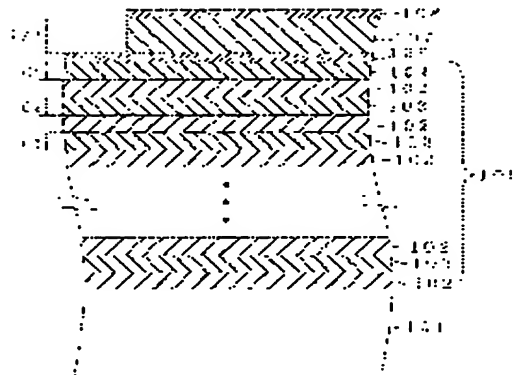
(72)Inventor : NAKAMURA YASUYOSHI  
DOI ARATA  
ISHIDA YASUAKI

## (54) PIEZOELECTRIC THIN FILM ELEMENT

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the temperature characteristic of a piezoelectric thin film element such as an SMR piezoelectric thin film vibrator while suppressing an increase in a new manufacturing process.

SOLUTION: An SiO<sub>2</sub> layer 103 and an SiO<sub>2</sub> layer 104 made of material of a delay time temperature coefficient with an inverse sign to the delay time temperature coefficient of a piezoelectric thin film 107 are employed for a low acoustic impedance layer with low acoustic impedance configuring an acoustic multilayer film 105 and the film thickness of the SiO<sub>2</sub> layer 104 of the uppermost layer closest to the piezoelectric thin film 107 is made to be thicker than 1/4 $\lambda$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-235886

(P2004-235886A)

(43) 公開日 平成16年8月19日(2004.8.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H03H 9/17

H01L 41/09

F I

H03H 9/17

H01L 41/08

F

C

テーマコード(参考)

5J108

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2003-21017 (P2003-21017)  
(22) 出願日 平成15年1月29日(2003.1.29)

(71) 出願人 000104722  
京セラキンセキ株式会社  
東京都狛江市和泉本町1丁目8番1号  
(71) 出願人 597102831  
中村 信良  
宮城県仙台市泉区南中山三丁目18番2号  
(74) 代理人 100064621  
弁理士 山川 政樹  
(72) 発明者 中村 信良  
宮城県仙台市泉区南中山三丁目18番2号  
(72) 発明者 土井 新  
東京都狛江市和泉本町1丁目8番1号 キンセキ株式会社内

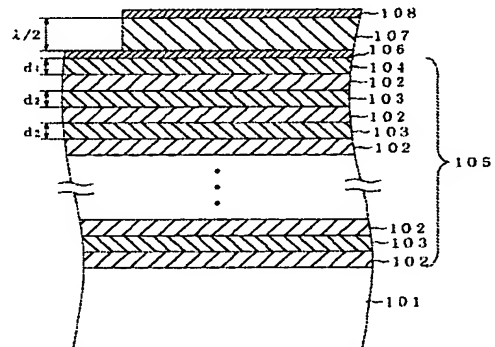
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電薄膜素子

(57) 【要約】

【課題】 新たな製造工程を増やすことを抑制した状態で、SMR型の圧電薄膜振動子など圧電薄膜素子の温度特性を改善する。

【解決手段】 音響多層膜105を構成する音響インピーダンスの低い低音響インピーダンス層を、圧電薄膜107の遅延時間温度係数とは逆の符号となる遅延時間温度係数の材料からなるSiO<sub>2</sub>層103、SiO<sub>2</sub>層104とし、圧電薄膜107に最も近い最上層のSiO<sub>2</sub>層104の膜厚を、 $1/4\lambda$ より厚くする。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板の上に配置され、高音響インピーダンス層、これより音響インピーダンスの低い低音響インピーダンス層の順に積層されて最上層が前記低音響インピーダンス層とされた音響多層膜と、この音響多層膜の上に形成された第 1 電極膜と、この第 1 電極膜の上に形成された圧電薄膜と、この圧電薄膜の上に形成された第 2 電極膜とを少なくとも備え、前記低音響インピーダンス層の遅延時間温度係数は、前記圧電薄膜の遅延時間温度係数とは逆の符号であり、最上層の前記低音響インピーダンス層は、前記圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の前記低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の  $1/4$  より厚く形成されたことを特徴とする圧電薄膜素子。

## 【請求項 2】

基板の上に配置され、高音響インピーダンス層、これより音響インピーダンスの低い低音響インピーダンス層の順に積層されて最上層が前記低音響インピーダンス層とされた音響多層膜と、この音響多層膜の上に形成された第 1 電極膜と、この第 1 電極膜の上に形成された圧電薄膜と、この圧電薄膜の上に形成された第 2 電極膜とを少なくとも備え、前記低音響インピーダンス層の遅延時間温度係数は、前記圧電薄膜の遅延時間温度係数とは逆の符号であり、最上層の前記低音響インピーダンス層は、前記圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の前記低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の  $1/4$  より薄く形成されたことを特徴とする圧電薄膜素子。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の圧電薄膜素子において、前記圧電薄膜素子の共振周波数温度係数は、最上層の前記低音響インピーダンス層を前記圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の前記低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の  $1/4$  の厚さとした場合の共振周波数温度係数より 0 に近いことを特徴とする圧電薄膜素子。

## 【請求項 4】

請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の圧電薄膜素子において、最上層の前記低音響インピーダンス層を除く低音響インピーダンス層は、前記圧電薄膜の共振周波数の音波が前記低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の  $1/4$  の厚さに形成され、前記高音響インピーダンス層は、前記圧電薄膜の共振周波数の音波が前記高音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の  $1/4$  の厚さに形成されたことを特徴とする圧電薄膜素子。

## 【請求項 5】

請求項 4 記載の圧電薄膜素子において、最上層の前記低音響インピーダンス層は、前記圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の前記低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の実質的に 0.47 倍の厚さに形成されたことを特徴とする圧電薄膜素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 10 【発明の属する技術分野】

本発明は、基板の上に音響多層膜を介して設けられた圧電薄膜を備えた圧電薄膜素子に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

例えば、コンピュータや通信機器などの電子機器は、振動子より得られる規則的な信号（高周波信号）に基づいて処理が行われている。また、これらの電子機器においては、振動子の厚み振動を利用した周波数フィルターにも用いられている。このように電子機器に利用されている振動子（圧電振動子）には、従来より水晶などの圧電材料からなる圧電板が用いられており、基本共振周波数を高くするためには、圧電板を薄くすればよい。例えば、板厚を  $30 \sim 40 \mu\text{m}$  程度とすることで、50MHz 程度の共振周波数が得られている。

## 【0003】

しかしながら、これ以上のより高い基本共振周波数を得るためには、板厚をより薄くすることになるが、板厚を薄くすればするほど、機械加工が困難となり、また、実用的な機械強度が得られない。

30 これに対し、基板の上に、音響多層膜を介して  $\lambda/2$  の厚さを有する圧電薄膜を設けた SMR (Solidly Mounted Resonator) 型の圧電薄膜振動子が開発されている（非特許文献 1）。

## 【0004】

近年、通信システムの超高周波帯への移行が進められているなかで、上記圧電薄膜振動子は、超高周波帯で安定に動作させることが可能な超高周波用弾性波素子として注目されている。

40 SMR 型の圧電薄膜振動子は、基板の上に音響インピーダンスの異なる 2 種類の薄膜 ( $\lambda/4$ ) を交互に積層した音響多層膜の上に、 $\lambda/2$  の厚さの圧電薄膜を形成したものである。

## 【0005】

この構成によれば、圧電薄膜は、音響多層膜により基板から音響的に切り離され、Q 値の高い共振を得ることが可能になる。また、圧電薄膜の下面全域が音響多層膜により固定されているので、安定した動作が可能となる。また、SMR 型の圧電薄膜振動子に、 $\text{SiO}_2$  の薄膜を付加して温度特性を改善する技術が提案されている（非特許文献 2）。

## 【0006】

## 【非特許文献1】

K. M. Lakin, et al. "Development of Miniature Filters for Wireless Applications", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 43, No. 12, p2933, December 1995.

## 【非特許文献2】

K. M. Lakin, et al. "Temperature Compensated Bulk Acoustic Thin Film Resonator", IEEE Ultrasonics Symposium paper 3H-2, October 24, 2000.

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来の技術では、温度特性を改善するためには、新たな膜を付加する必要があるため、素子を製造する工程が長くなってしまうという問題があった。

本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、新たな製造工程を増やすことを抑制した状態で、SMR (Solidly Mounted Resonator) 型の圧電薄膜振動子など圧電薄膜素子の温度特性を改善することを目的とする。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

本発明に係る圧電薄膜素子は、基板の上に配置され、高音響インピーダンス層、これより音響インピーダンスの低い低音響インピーダンス層の順に積層されて最上層が低音響インピーダンス層とされた音響多層膜と、この音響多層膜の上に形成された第1電極膜と、この第1電極膜の上に形成された圧電薄膜と、この圧電薄膜の上に形成された第2電極膜とを少なくとも備え、低音響インピーダンス層の遅延時間温度係数は、圧電薄膜の遅延時間温度係数とは逆の符号であり、最上層の低音響インピーダンス層は、圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ より厚くもしくは薄く形成されたものである。

この圧電薄膜素子では、音響多層膜を構成している最上層の低音響インピーダンス層により、圧電薄膜における周波数温度特性を逆の方向に変化させ、最上層の低音響インピーダンス層を圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ より厚くするもしくは薄くすることで、圧電薄膜素子の共振周波数温度係数を0に近づける。

## 【0009】

上記圧電薄膜素子において、圧電薄膜素子の共振周波数温度係数は、最上層の低音響インピーダンス層を圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ の厚さとした場合の共振周波数温度係数より0に近いものとなっている。

また、上記圧電薄膜素子において、最上層の低音響インピーダンス層を除く低音響インピーダンス層は、圧電薄膜の共振周波数の音波が低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ の厚さに形成し、高音響インピーダンス層は、圧電薄膜の共振周波数の音波が高音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ の厚さに形成しておけばよい。この状態で、最上層の低音響インピーダンス層を、圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の実質的に0.47倍の厚さに形成すれば、圧電薄膜素子の共振周波数温度係数をほぼ「0」とすることができる。

## 【0010】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

図1は、本発明の実施の形態における圧電薄膜素子 (SMR型の圧電薄膜振動子) の構成例を概略的に示す模式的な断面図である。この圧電薄膜素子は、まず、単結晶シリコンなどから構成された基板101の上に、ZnO層 (高音響インピーダンス層) 102とSiO<sub>2</sub>層 (低音響インピーダンス層) 103とが交互に積層されて最上層がSiO<sub>2</sub>層104とされた音響多層膜105を備えている。音響多層膜105は、例えば、8層以上積層されている。

## 30 【0011】

音響多層膜105の上には、電極膜106、108に挟まれた例えばZnOからなる圧電薄膜107が形成されている。また、電極膜106、108は、例えば、膜厚5nm程度のCr膜と膜厚30nm程度のAu膜とから構成されたものである。ここで、単独の状態とした圧電薄膜107の共振周波数をF<sub>0</sub>とすると、圧電薄膜107の膜厚は、周波数F<sub>0</sub>の音波が単独の圧電薄膜107を伝搬するときの波長λの半分としたものである。

## 【0012】

40 ところで、上記の膜厚は、一般に、「圧電薄膜107の膜厚は、 $1/2\lambda$ の厚さを有する」と表現される。以降では、各層の膜厚について、「λ」を用いた記載とする。例えば、「SiO<sub>2</sub>層103の膜厚は、 $1/4\lambda$ である」とは、SiO<sub>2</sub>層103の膜厚は、周波数F<sub>0</sub>の音波が単独のSiO<sub>2</sub>層103を伝搬するときの波長λの $1/4$ であることを示している。従って、「λ」の値は、各層において異なるものとなる。

## 【0013】

50 ここで、圧電薄膜107の膜厚を、例えば700nm程度に形成すれば、図1の圧電薄膜素子の共振周波数は3

GHz程度となる。ただし、図1に示す圧電薄膜素子の場合、共振周波数は、圧電薄膜107の厚さだけではなく、電極膜106、108にも影響され、圧電薄膜107の厚さより算出される理論値からずれるものである。電極膜106、108による影響が大きい場合は、例えば圧電薄膜107の厚さを、適宜変更すればよい。

#### 【0014】

音響多層膜105において、ZnO層102は高音響インピーダンス層として機能し、SiO<sub>2</sub>層103は、低音響インピーダンス層として機能する。これらは、相対的なものである。音響多層膜105を構成するZnO層102、SiO<sub>2</sub>層103の膜厚は、各々 $\lambda/4$ の厚さとすれば良く、例えば、ZnO層102は0.41 $\mu$ m、SiO<sub>2</sub>層103は0.46 $\mu$ m程度とすればよい。

音響多層膜105により、圧電薄膜107と基板101とが音響的にアイソレートされることになり、Q値の高い共振を得ることができるようになる。また、圧電薄膜107が、音響多層膜105により、全面で保持されるため、安定した動作が可能となる。

#### 【0015】

音響多層膜105の層数の増加に伴い、圧電薄膜107から基板101の方向を見た負荷インピーダンスが小さくなる。従って、音響多層膜105を、例えば8層以上の多層とすることで、圧電薄膜107を両面自由な状態に近づけることが可能となり、Q値の高い共振を実現することが可能となる。

加えて、本実施の形態では、低音響インピーダンス層の1つであるSiO<sub>2</sub>層104の膜厚 $d_1$ を、他のSiO<sub>2</sub>層103の膜厚 $d_2$ より厚く形成することで、図1に示す圧電薄膜素子の共振周波数温度係数(TCF)を、より「0」に近づけるようにした。TCFが「0」に近いということは、周波数温度特性が良いこととなる。

#### 【0016】

発明者らの調査により、圧電薄膜107に最も近い最上層のSiO<sub>2</sub>層であるSiO<sub>2</sub>層104の膜厚を $\lambda/4$ より厚くすることで、図1に示す圧電薄膜素子のTCFを「0」に近づけることが可能となることが判明した(図2)。図2より明らかなように、SiO<sub>2</sub>層104の膜厚 $d_1$ を0.47 $\lambda$ 程度とすることで、TCFをほぼ0とできる。なお、図2は、電極膜106、108の厚さは0として解析を行った結果である。

#### 【0017】

SiO<sub>2</sub>の薄膜(非晶質)は、酸化亜鉛からなる圧電薄膜107とは、遅延時間温度係数(TCD)が互いに逆符号であり、このような材料を、音響多層膜105の低音響インピーダンス層として用いることで、上述したように、図1に示す圧電薄膜素子のTCFを「0」に近づけることが可能となる。また、本実施の形態によれば、新たな層を付加することなく、図1に示す圧電薄膜素子

のTCFを「0」に近づけることが可能となる。

#### 【0018】

なお、ZnOからなる圧電薄膜107を用いた図1の圧電薄膜素子の場合、最上層にあるSiO<sub>2</sub>層104の膜厚を $\lambda/4$ とすると、図1に示す圧電薄膜素子のTCFの絶対値が「0」より大きいものとなっている。この場合、圧電薄膜素子のTCFの符号は、圧電薄膜107のTCDと同じであるため、この実施の形態では、SiO<sub>2</sub>層104の膜厚を $\lambda/4$ より厚くすることで、図1に示す圧電薄膜素子のTCFをより「0」に近づけた。

#### 【0019】

これに対し、最上層にある逆符号のTCDを有する低音響インピーダンス層の膜厚を $\lambda/4$ より厚くすると、圧電薄膜素子のTCFが「0」より離れる場合もある。このような場合、最上層にある逆符号のTCDを有する低音響インピーダンス層の膜厚を $\lambda/4$ より薄くすることで、圧電薄膜素子のTCFをより「0」に近づければよい。

#### 【0020】

ここで、発明者らの調査により、音響多層膜105の最上層であるSiO<sub>2</sub>層104の膜厚を $\lambda/4$ より厚くすると、以下に示すように、圧電薄膜素子の他の特性に影響を与えることが判明した。図3は、音響多層膜105の最上層であるSiO<sub>2</sub>層104の膜厚を $\lambda/4$ より厚くすることで、圧電薄膜素子の実効的電気機械結合係数( $K^2$ )が、低下することを示している。これは、SiO<sub>2</sub>層104に含まれる振動エネルギーが大きくなるためと考えられる。なお、図3は、電極膜106、108の厚さは0として解析を行った結果である。

#### 【0021】

つぎに、SiO<sub>2</sub>層104の膜厚をパラメータとして圧電薄膜素子の各部における振動エネルギーを振動変位 $|u|$ として図4及び図5に示す。図4と図5において、変化のピークを比較すると、SiO<sub>2</sub>層104を膜厚 $\lambda/4$ とした場合(図4)のSiO<sub>2</sub>層104に含まれる振動エネルギーよりも、SiO<sub>2</sub>層104の膜厚( $d_1$ )を0.47 $\lambda$ とした場合(図5)の方が大きくなっている。なお、図4、5は、ZnO層102、SiO<sub>2</sub>層103の積層数を8層とした音響多層膜105の場合を例にしたものである。

#### 【0022】

また、図4と図5との比較から明らかなように、基板101に洩れるエネルギーが、 $d_1$ を0.47 $\lambda$ とした場合の方が大きく、このことが、Q値を下げる要因となっている。なお、Q値は、固有振動を起こした際の共振特性の鋭さの度合いを表すものである。

#### 【0023】

以上のことをふまえ、発明者らは、SiO<sub>2</sub>層104の膜厚( $d_1$ )に加え、SiO<sub>2</sub>層103の膜厚( $d_2$ )及びZnO層102の膜厚を各々変化させ、TCFが

「0」になる組み合わせについて調査した。この調査結果を図6に示す。図6に示すように、 $d_2$ が変化することによっても、 $K^2$ や $Q$ 値が変化している。また、 $d_1$ については、 $TCF=0$ を満足する2つの領域が存在していることが判る。

#### 【0024】

このなかで、 $d_1=0.47\lambda$ の付近では、 $K^2$ が大きくなると $Q$ 値が小さくなる傾向があり、圧電薄膜素子に要求される特性に応じて $d_1$ を設定した方がよいことが判る。

また、 $d_1=0.75\lambda$ 付近では、 $K^2$ と $Q$ 値のどちらも同じ位置でピークになっている。これは、 $SiO_2$ 層104の膜厚( $d_1$ )が $3/4\lambda$ となるところに相当し、 $SiO_2$ 層104に $\lambda/2$ の厚さを有する $SiO_2$ 層が付加されている状態と考えられる。この結果、 $d_1=0.75\lambda$ 付近では、 $K^2$ と $Q$ 値のピークが一致するものと考えられる。ただし、図7に示すように、 $SiO_2$ 層104の膜厚が $\lambda/2$ 増えたため、 $SiO_2$ 層104に含まれる振動エネルギーが大きくなり、 $K^2$ は、 $d_1=0.46\lambda\sim0.48\lambda$ 付近より低くなっている。

#### 【0025】

以上に説明したように、本実施の形態によれば、まず、音響多層膜105の低音響インピーダンスの層を圧電薄膜107と異なる符号の周波数温度特性を備えた $SiO_2$ から構成した。加えて、 $ZnO$ 層102、 $SiO_2$ 層103の膜厚を $\lambda/4$ とした状態で、 $SiO_2$ 層104の膜厚を $\lambda/4$ より大きくすることで、圧電薄膜素子の周波数温度特性を改善するようにした。このなかで、 $SiO_2$ 層104の膜厚を、 $0.47\lambda$ とすることで、図1の圧電薄膜素子の $TCF$ をほぼ「0」とすることが可能となる。

#### 【0026】

また、図6にも示したように、 $SiO_2$ 層103を $\lambda/4$ より厚く形成し、 $SiO_2$ 層104は、 $SiO_2$ 層103より厚く形成することで、 $TCF=0$ を満足し、かつ $Q$ 値や $K^2$ を要求される特性とすることが可能となる。

近年、通信量の加速度的な増加に伴って通信システムのより一層の高周波化が要求されている中で、上述した本実施の形態における圧電薄膜素子によれば、超高周波で利用できる温度特性の良い弾性波素子を提供できるようになる。

#### 【0027】

なお、上述では、圧電薄膜として酸化亜鉛を用い、高音響インピーダンス層に酸化亜鉛の層を用い、低音響インピーダンス層に $SiO_2$ の層を用いるようにしたが、これに限るものではない。

他の圧電材料を圧電薄膜として用い、この圧電材料と異なる符号の $TCF$ を有する材料を低音響インピーダンス層に用い、これより音響インピーダンスの高い材料を高

音響インピーダンス層に用いても同様である。

#### 【0028】

例えば、窒化アルミニウム( $AlN$ )、硫化カドミウム( $CdS$ )、 $PZT$ ( $PbZrO_3-PbTiO_3$ の固溶体)、水晶、ニオブ酸カリウム( $KNbO_3$ )などを圧電薄膜の材料として用いることができる。圧電材料に $AlN$ を用いる場合、低音響インピーダンス層には $SiO_2$ を用い、高音響インピーダンス層には $AlN$ を用いればよい。

#### 10 【0029】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、音響多層膜を構成する音響インピーダンスの低い低音響インピーダンス層に、圧電薄膜の遅延時間温度係数とは逆の符号となる遅延時間温度係数を備えた材料を用い、かつ、最上層の低音響インピーダンス層は、圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ より厚くもしくは薄くするなど、圧電薄膜の共振周波数の音波が最上層の低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4$ とは異なる厚さにした。

20 この結果、本発明によれば、新たな製造工程を増やすことなく、圧電薄膜における周波数温度特性を逆の方向に変化させ、圧電薄膜素子の周波数温度特性を改善し、例えば、共振周波数温度係数を0に近づけることができるという優れた効果が得られる。

#### 【0030】

また、例えば、最上層の低音響インピーダンス層以外の他の低音響インピーダンス層は、圧電薄膜の共振周波数の音波が低音響インピーダンス層を伝搬するときの波長の $1/4\lambda$ より厚く形成し、最上層の低音響インピーダンス層は、他の低音響インピーダンス層より厚く形成するなかで、各膜厚を適宜設定することで、圧電薄膜素子の周波数温度特性をほぼ「0」とした状態で、 $Q$ 値や $K^2$ を変化させて所望の値とすることが可能となる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態における圧電薄膜素子(SMR型の圧電薄膜振動子)の構成例を概略的に示す模式的な断面図である。

40 【図2】音響多層膜の最上層である $SiO_2$ 層104の厚さによる $TCF$ の変化を示す特性図である。

【図3】音響多層膜の最上層である $SiO_2$ 層104の厚さによる $K^2$ の変化を示す特性図である。

【図4】音響多層膜105が8層の場合の振動変位分布を示す分布図である。

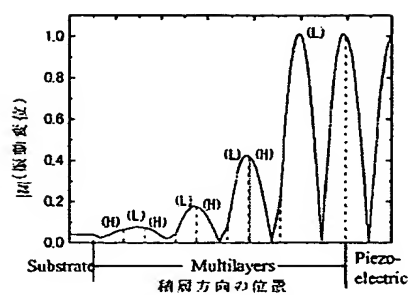
【図5】音響多層膜105が8層で、 $SiO_2$ 層104の厚さ $d_1=0.47\lambda$ としたときの振動変位分布を示す分布図である。

【図6】 $TCF=0$ を満足する場合の $SiO_2$ 層104の厚さ $d_1$ と $K^2$ 、 $Q$ 値との関係を示す相関図である。

50 【図7】 $SiO_2$ 層104の厚さ $d_1=0.75\lambda$ 、 $S$



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 石田 泰昭

東京都狛江市和泉本町1丁目8番1号 キンセキ株式会社内

Fターム(参考) 5J108 AA04 BB07 CC11 EE13